

Eixo Temático ET-03-021 - Meio Ambiente e Recursos Naturais

## **CLIMATOLOGIA PLUVIOMÉTRICA MENSAL DO CARIRI PARAIBANO POR MEIO DA SÉRIE DE FOURIER**

Joelma Vieira do Nascimento Duarte<sup>1</sup>, José Fideles Filho<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual da Paraíba – Aluna de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental – CAPES - joelmavnduarte@hotmail.com;

<sup>2</sup>Universidade Estadual da Paraíba– Professor Doutor do Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental – CAPES - fidelesfilho@uol.com.br.

### **RESUMO**

No Semiárido paraibano, as secas prolongadas e a desertificação têm ocasionado mudanças do regime hidrológico, perdas na agricultura, ameaça à biodiversidade e gera impactos sociais, econômicos e ambientais. Estando a Terra em um processo crescente de desestabilização ecológica e climática, vários eventos extremos estão ocorrendo de forma desordenada ao longo do planeta e isso possibilita a instalação de um padrão de movimentação de ações e programas promovidos por várias instituições e com isso diversas áreas de estudo tem tido um papel importante nesse processo. Embora a série de Fourier tenha sido desenvolvida como subsídio matemático ao estudo da transferência de calor, a aplicação desta soma de senos e cossenos estendeu-se a todos os ramos da Física, Engenharia e Matemática, sendo também comum encontrar o uso desta série em diversos artigos publicados sobre o conhecimento humano. Esse estudo tem como objetivo avaliar a periodicidade das precipitações ocorridas em dois municípios localizados na região do cariri paraibano por meio das séries de Fourier, por ser uma técnica utilizada na descrição de fenômenos periódicos ou quase periódicos, no domínio da frequência de uma série de dados ordenados no tempo e verificar seus efeitos no ecossistema local.

**Palavras-chave:** Pluviometria; Fourier; Séries temporais.

### **INTRODUÇÃO**

A mudança do clima global vem se manifestando de diversas formas, destacando-se o aquecimento global e a maior frequência e intensidade de fenômenos climáticos extremos.

No Semiárido paraibano, as secas prolongadas e a desertificação têm ocasionado mudanças do regime hidrológico, perdas na agricultura, ameaça à biodiversidade e gera impactos sociais, econômicos e ambientais.

Uma vez que a Terra encontra-se em um processo crescente de desestabilização ecológica e climática, vários eventos extremos estão ocorrendo de forma desordenada ao longo do planeta e isso possibilita a instalação de um padrão de movimentação de ações e programas promovidos por várias instituições e com isso diversas áreas de estudo tem tido um papel importante nesse processo. Contudo, é notório que a relação entre as Ciências Naturais e o meio ambiente é complexa devido ao fato de que o meio ambiente está diretamente relacionado com as atitudes e destino do homem, tornando-o o seu principal agente preservador ou degradador.

De acordo com Araújo et al. (2003), o conhecimento das características da precipitação pluvial é de suma importância quando se considera uma análise direcionada à região Nordeste e, principalmente, ao Estado da Paraíba, pois é pouco conhecido que a Paraíba é o Estado do Nordeste que apresenta a maior variabilidade espacial das chuvas, com dois regimes de chuvas específicos para cada região do Estado.

As medidas de enfrentamento político, social e econômico das ações provocadas pelos longos períodos de estiagem no Estado da Paraíba não são simples e requerem planejamento. Conforme Oliveira et al. (2009), as decisões políticas são de suma importância, via planejamento para colocar em prática as ações, que podem ser de curto, médio e longo prazo. Para que tais decisões sejam colocadas em prática, é necessário amparo científico ou exercício da parte que lhe cabe, sendo assim, políticas de incentivo à pesquisa por meio dos órgãos de fomento devem ser estabelecidas e os resultados obtidos por meio do trabalho científico devem chegar à população a qual deve ser estimulada e auxiliada a colocá-los em prática.

Sendo a precipitação pluvial um elemento climático fundamental por ter influência direta nas demais variáveis que compõem o meio ambiente (temperatura do ar, radiação solar, umidade atmosférica), é de suma importância no desenvolvimento da fauna e da flora que compõe um ecossistema.

Conforme Ricieri (1988), embora a série de Fourier tenha sido desenvolvida como subsídio matemático ao estudo da transferência de calor, a aplicação desta soma de senos e cossenos estendeu-se a todos os ramos da Física, Engenharia e Matemática, sendo também comum encontrar o uso desta série em diversos artigos publicados sobre o conhecimento humano. Assim, de um modo geral, pode-se dizer que a série desenvolvida por Fourier tem permitido a engenheiros e cientistas escreverem eficientemente diversos tipos de funções e com elas podem controlar e prever o mundo que os circunda.

Logo, vários fenômenos e grandezas físicas presentes na atmosfera terrestre, por apresentarem um caráter quase periódico, podem ser descritos com o uso das séries de Fourier, a exemplo das precipitações em suas variações sazonais, radiação que chega ao topo da atmosfera, padrões de vento, temperatura, umidade do ar, etc.

Apesar da existência de vários estudos acerca da periodicidade das precipitações pluviais que é um evento meteorológico que ocorre em determinado intervalo de tempo, conforme os autores Amaral (1968), Garcez (1974) e Ayoade (2002), torna-se necessário novos estudos, principalmente na região do semiárido paraibano para uma nova avaliação de sua periodicidade e sua consequência no meio ambiente da região devido às mudanças climáticas ocorridas.

## **METODOLOGIA**

### **Regiões de estudo**

A pesquisa foi desenvolvida para dois municípios do estado da Paraíba, situados na região do Cariri, sendo elas: São João do Cariri e Soledade.

### **Caracterização do cariri paraibano**

O Cariri paraibano está localizado no sul do Estado e é caracterizado pela baixa ocorrência de chuvas, a região apresenta uma severidade climática com médias pluviométricas de 900 mm anuais, irregularmente distribuída tanto em nível espacial como temporal, sendo evidenciado em alguns municípios, durante alguns períodos, a

total escassez de precipitações pluviométricas. A severidade ecolimática é ainda mais acentuada no Cariri Oriental que ocupa uma posição a sotavento das serras fronteiriças com Pernambuco, que provocam uma diminuição da umidade dos alísios de sudeste depois que favorecem a queda de chuva orográfica nas suas vertentes a barlavento, no Estado vizinho. Toda essa particularidade ocorre em função da influência que a continentalidade e a morfologia do relevo exercem na distribuição dos climas e, sobretudo nos gradientes pluviométricos nos Cariris, de acordo com Nascimento e Alves (2008).



**Figura 1:** Imagens da área de estudo - Paraíba - Cariri (Ocidental/Oriental). Fonte: Nascimento e Alves (2008).

### Dados utilizados

Foram utilizadas séries históricas de dados pluviométricos das referidas regiões, com dados não inferiores a trinta anos de modo a tornar o estudo viável e confiável.

### Análise de Fourier

De acordo com Conrad e Pollak (1950), a análise de Fourier pode ser obtida considerando as séries trigonométricas da forma:

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos\left(\frac{2n\pi x}{T}\right) + b_n \sin\left(\frac{2n\pi x}{T}\right) \quad (1)$$

Observa-se que todas as parcelas são periódicas em T e no conjunto de todos os valores possíveis de x para os quais a Equação (1) converge, define-se uma função periódica também de período T. A essa série, denomina-se Série de Fourier e pode ser escrita da seguinte forma:

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left( a_n \cos \frac{n\pi x}{T} + b_n \sin \frac{n\pi x}{T} \right) \quad (2)$$

Sabe-se que os índices  $a_0, a_n$  e  $b_n$  são os coeficientes de Fourier e sua determinação, ao fazer uso das relações de ortogonalidade, possibilita a representação da função em questão na forma da Equação (2).

Considerando que a Equação (2) possui um período fundamental T, tem-se que sua frequência fundamental é dada por  $w_0 = \frac{2\pi}{T}$ , assim, a Equação (2) pode ser escrita da forma:

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(nw_0x) + b_n \sin(nw_0x)) \quad (3)$$

Para determinar os coeficientes de Fourier, deve-se usar:

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_0^T f(x) dx \quad (4)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(x) \cos(nw_0x) dx \quad (5)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(x) \sin(nw_0x) dx \quad (6)$$

Ainda segundo Conrad e Pollak (1950), para facilitar os cálculos, a Equação (2) pode ser reescrita da forma:

$$Y_t = a_0 + \sum_{n=1}^k \left[ a_n \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + b_n \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) \right] \quad (7)$$

Considera-se  $a_0$ ,  $a_n$  e  $b_n$  os coeficientes de Fourier. Sendo:

$$a_0 = a_k \sin A_k \quad (8)$$

$$a_n = a_k \cos A_k \quad (9)$$

Com

$$a_k = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad (10)$$

Sendo  $Y_t$  os valores estimados;  $a_0$  as médias dos valores observados;  $a_n$  e  $b_n$  os coeficientes ortogonais das ondas senoidais;  $a_k$  a amplitude da onda;  $A_k$  o ângulo de fase; T o período da onda (1,2,3,4,...); K o número de ondas senoidais; N o número de observações da série e t a unidade de tempo.

Faz-se necessário o ajuste dos dados pluviométricos em ambas as amostras a meses de 30 dias, visto que alguns meses possuem 31 dias, o mês fevereiro possui 28 dias e em anos bissextos, possui 29 dias. Tal ajuste será feito multiplicando-se o valor da precipitação mensal por 30/31, nos meses de 31 dias; para os anos bissextos, em fevereiro multiplica-se a precipitação por 30/29.

Obtidos os ângulos de fase, para que os harmônicos não fiquem defasados, é necessário fazer um ajuste tal qual sugere Conrad e Pollak (1950):

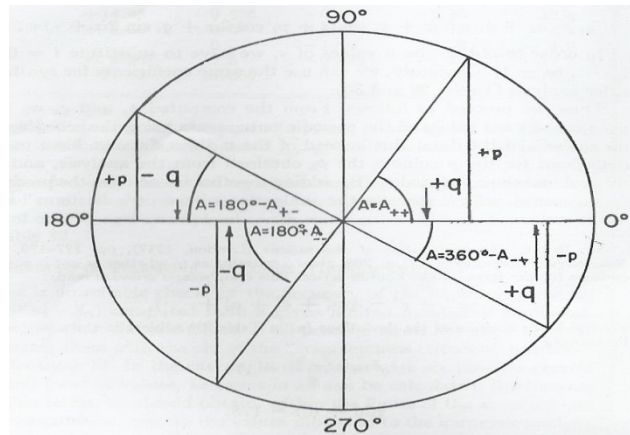


Figura 2 - Diagrama para determinação do ângulo de fase. Fonte: Conrad e Pollak (1950). p.126

Ainda para um melhor ajuste dos dados, divide-se as amplitudes pelo intervalo de tempo da série, isto é, o número de anos ao qual se refere a série histórica em questão.

Previamente à utilização dos dados na aplicação da análise harmônica, é importante testar sua homogeneidade de variâncias e normalidade. Conforme Amaral (1968), as precipitações mensais não se distribuem normalmente, fazendo com que as médias não sejam representativas. Sendo assim, uma prévia transformação dos dados a fim de normalizar a distribuição e homogeneizar as variâncias é necessária.

Apresentando, as ondas, ausência de normalidade e homogeneização, torna-se necessária a realização de uma transformação dos dados e conforme Cardoso (2010) foi definida por:

$$z = x^{1-a} \tag{11}$$

Dispondo de um conjunto de dados os quais possam ser obtidas suas médias,  $\bar{X}$ , e o desvio padrão, se os pares desses valores estiverem dispostos ao longo de uma reta paralela ao eixo das abscissas, aproximadamente, considera-se que a média e o desvio padrão são independentes. Assim:

$$\sigma_z^2 = [Z'(\bar{X})]^2 \sigma_x^2 \tag{12}$$

$$\sigma_z = Z'(\bar{X})\sigma_x = K \tag{13}$$

Sendo  $Z'$  o valor obtido pela transformação e  $K$  uma constante, a relação entre o desvio padrão e a média é da forma:

$$\sigma_x = B\bar{X}^a \tag{14}$$

Considerando a equação de regressão da reta que descreve a transformação

$$Y = aX + b \tag{15}$$

Tem-se o valor de  $a$  na Equação (11), como sendo um número real, de mesmo valor igual ao encontrado após aplicação da Equação (15). O valor  $Y$  é obtido encontrando o logaritmo do desvio padrão do total das precipitações obtidas durante o mês de janeiro, fevereiro, março, e assim, sucessivamente; e valor  $X$  é obtido pelo logaritmo da média das precipitações nos referidos meses. Assim:

$$\log \sigma_x = \log B + a \log \bar{X} \quad (16)$$

Assemelhando-se a Equação (15), tem-se:

$$Y = \log \sigma_x; \quad b = \log B \text{ e } X = \log \bar{X}.$$

De posse dos dados obtidos após a transformação, realiza-se uma nova análise harmônica a fim de obter novos valores para  $a_n$  e  $b_n$ , e, conseqüentemente, novos valores para as amplitudes, ângulos de fase e novas configurações para as ondas que representam o modelo.

Uma vez que possuindo dados de precipitações referentes a 12 meses, obtém-se cinco ondas senoidais (com períodos de 12, 6, 4, 12/5 e 2 meses), que oscilam acima e abaixo dos valores de precipitação média mensal reduzidas a 30 dias, o que corrobora com Amaral (1968) e Andrade et al. (2006). Posteriormente, dentre essas seis ondas, três serão escolhidas por apresentarem maior significância.

A fim de testar a significância das harmônicas obtidas, serão realizados os seguintes testes estatísticos: análise de variância e o teste de Brunt.

#### Análise de variância

De acordo Amaral (1968), deve-se admitir a hipótese de que os dados de precipitações mensais são distribuídos normalmente e com a mesma variância em torno das respectivas médias. Posteriormente, Queiroz (2001) também usou essa metodologia e verificou sua veracidade. Assim, através da equação diferencial abaixo, será encontrada a distribuição das amplitudes dos componentes harmônicos:

$$dP = \frac{Na}{2\sigma^2} e^{-Na^2/4\sigma^2} da \quad (17)$$

Sendo  $a$ , a amplitude da onda;  $N$  o período fundamental (12 meses) e  $\sigma^2$  a variância.

Ao adotar um nível de confiança em torno de 95% de probabilidade obtida pelo somatório das ondas mais significativas, o valor de  $a$  acima do qual a amplitude de uma onda com dois graus de liberdade será significativa, é dado por:

$$\int_0^a \frac{Na}{2\sigma^2} e^{-Na^2/4\sigma^2} da = 1 - \alpha = 0,95 \quad (18)$$

Ao integrar, encontra-se:

$$\left[ -e^{-Na^2/4\sigma^2} \right]_0^a = 1 - e^{-Na^2/4\sigma^2} \quad (19)$$

Assim:

$$\alpha = e^{-N\sigma^2/4\sigma^2} \tag{20}$$

Assim,

$$\sigma = 2\sigma \sqrt{\frac{-\log \alpha}{N}} \tag{21}$$

Fixando  $\alpha$  (nível de significância), pode-se calcular o valor em que a amplitude é significativa. Tem-se também que conhecendo um valor de determinada amplitude pode-se encontrar o nível de significância de ocorrência de determinado modelo, uma vez que essa amplitude seja correspondente à onda harmônica de maior ordem.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Análise Mensal

O município de Soledade-PB, localizado na região do Cariri possui uma média de precipitação mensal em torno de 30,3 mm, conforme pode ser verificado na Figura 5. O período chuvoso ocorre nos meses de janeiro a abril (valores variando entre 30,9 mm e 93,2 mm). Em contrapartida, as precipitações mínimas ocorrem entre os meses de setembro a dezembro (valores variando entre 3,6 mm a 5,4 mm). A síntese dos harmônicos (linha em azul) apresenta-se em conformidade com os dados reais, indicando que o período de maior pluviosidade será apresentado durante os meses citados anteriormente.

Tabela 1 - Precipitação Total mensal (mm), máxima (MAX), Mínima (MIN), Média (MED), Desvio Padrão (D.P) e Coeficiente de Variação (C.V) para o município de Soledade-PB durante o período de (1941 – 2015).

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
<b>TOTAL</b>	2266,4	4126,6	6486,2	6616,5	3167,7	2375,7	2347,4	838,7	295,4	397,7	253,0	1128,4
<b>MAX</b>	339,2	486,2	400,0	367,9	199,0	124,7	113,1	85,1	30,5	92,9	53,8	193,4
<b>MIN</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>MED</b>	31,4	56,2	89,4	90,8	42,5	31,6	31,6	11,4	4,1	5,5	2,6	15,1
<b>D.P</b>	50,3	77,7	81,0	79,0	40,5	27,7	25,4	14,6	7,3	18,4	7,9	34,0
<b>C.V</b>	1,6	1,4	0,9	0,9	1,0	0,9	0,8	1,3	1,8	3,3	3,0	2,3

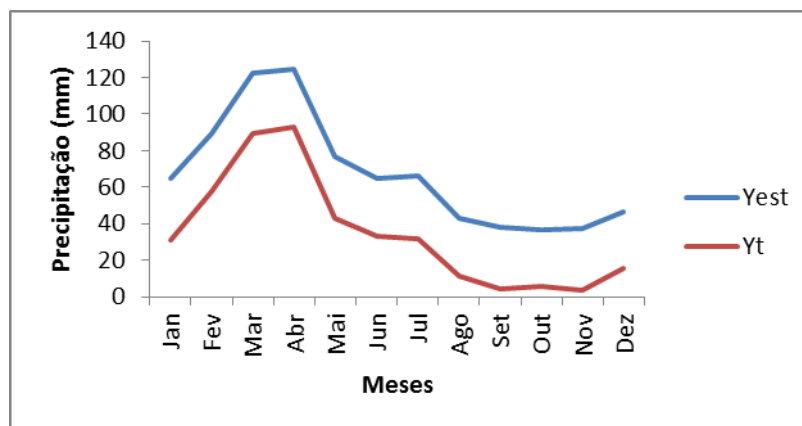


Figura 3- Precipitação média mensal do município de Soledade-PB: composição do primeiro, segundo, terceiro, quarto e quinto harmônico.

Tabela 2 - Precipitação Total mensal (mm), máxima (MAX), Mínima (MIN), Média (MED), Desvio Padrão (D.P) e Coeficiente de Variação (C.V) para o município de São João do Cariri-PB durante o período de (1962 – 2014).

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
<b>TOTAL</b>	2153,7	2895,4	4817,4	4688,7	2936,4	2119,1	1539,1	766,3	214,8	334,7	378,1	687,2
<b>MAX</b>	280,8	247,2	338,4	348,8	409,7	188,1	99,6	99,4	20,9	152	105	112
<b>MIN</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>MED</b>	72,2	95,5	146,1	161,2	161,9	187,3	160,8	114,6	51,2	23,1	28,9	35,4
<b>D.P</b>	70,9	93,5	91,1	103,7	88,7	129,8	114,3	105,0	51,7	27,2	31,0	37,7
<b>C.V</b>	1,0	1,0	0,6	0,6	0,5	0,7	0,7	0,9	1,0	1,2	1,1	1,1

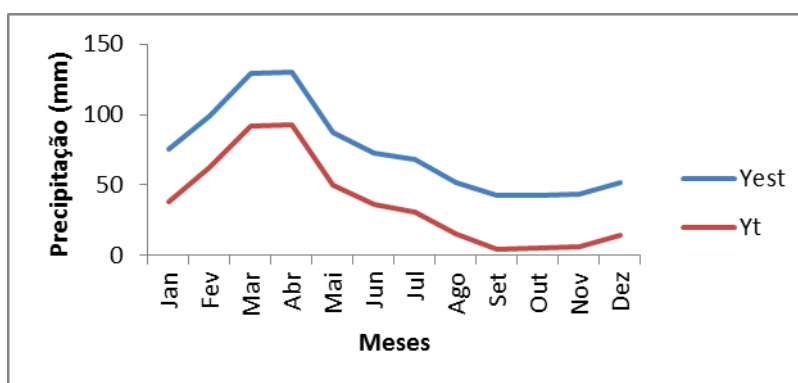


Figura 4 - Precipitação média mensal do município de São João do Cariri-PB: composição do primeiro, segundo, terceiro, quarto e quinto harmônico.

O Município de São João do Cariri-PB, localizado na região do Cariri possui uma média de precipitação mensal em torno de 32,8 mm, conforme pode ser verificado na Figura 3. Seu período chuvoso ocorre entre os meses de janeiro a abril (valores variando entre 62,3 mm e 92,8 mm). Em contrapartida, o período de estiagem ocorre entre os meses de setembro a dezembro (valores variando entre 4,6 mm a 6,2 mm).

Assim, as Figura 3 e 4 são complementos para o estudo das séries temporais. Uma vez que elas representam as médias de precipitação mensais, é plausível utilizar também os dados das precipitações totais acumuladas para realizar uma estimativa de futuros anos e seus respectivos meses de estiagem e/ou excesso de precipitação.

## CONCLUSÕES

- O período de estiagem do Cariri paraibano ocorre entre os meses de setembro a dezembro e o período chuvoso está compreendido entre os meses de janeiro a abril;
- O primeiro harmônico obtido pela análise de Fourier em todos os municípios estudados descreve mais de 90% do fenômeno no que diz respeito às precipitações mensais;
- Os três primeiros harmônicos descrevem melhor o modelo de regressão;
- A variância acumulada nos cinco harmônicos apresentam-se em torno de 99%. Tal resultado confere uma alta confiabilidade do modelo;
- De acordo com o teste de Brunt, quanto maior for a série de observações, maior será a confiabilidade do modelo da série de Fourier quando se aplica a dados de precipitação pluviométrica.



## REFERÊNCIAS

AMARAL, E. Análise harmônica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira – PAB**, v. 3, p. 7-43, 1968.

ANDRADE, A. R. S.; PAIXÃO, F. A. R.; LEÃO, A. B.; AMARAL, I. G. Análise harmônica no estudo das chuvas no Município de Catolé do Rocha – PB. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, n. 1, p. 56-58, 2006.

ARAÚJO, L. E.; BECKER, C. T.; PONTES, A. L. Periodicidade da precipitação pluviométrica no Estado da Paraíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13., 2003, Santa Maria. *Anais...* v.2, Santa Maria: 2003. p. 947-948.

AYOADE, J. O. O clima e a agricultura. In: **Introdução à climatologia para os trópicos**. 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os Trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002.

CARDOSO, D. S. **Análise harmônica dos totais de chuva mensais de regiões homogêneas do Estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação de Mestrado como parte integrante do Programa de Pós Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Pelotas, 2010. 116 p.

CONRAD, V.; POLLAK, L. W. **Methods in climatology**. Cambridge: Harvard University Press, 1950. 459 p.

GARCEZ, L. N. **Hidrologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1974.

NASCIMENTO, S. S.; ALVES, J. J. A. Ecoclimatologia do Cariri paraibano. **Revista Geografia Acadêmica**, v. 2, n. 3, p. 28-41, 2008.

OLIVEIRA, E. M.; SANTOS, M. J.; ARAÚJO, L. E.; SILVA, D. F. Desertificação e seus impactos na região semiárida do Estado da Paraíba. **Ambiência – Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 5, n. 1, 2009.

QUEIROZ, E. F.; SILVA, R. J. B.; OLIVEIRA, M. C. N. Modelo de análise de regressão periódica da precipitação mensal, da bacia atlântico sudeste, no Estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 5, p. 727-742, 2001.

RICIERI, A. P. Construindo a série de Fourier. Matemática Aplicada na Vida.